INSTITUTO DEL MUSEO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
NOTAS DEL MUSEO DE LA PLATA
TOMO XII Geologia, N° 45

ALGUNAS OBSERVACIONES

SOBRE

EL METEORITO DE EL PERDIDO

(PARTIDO DE CORONEL DORREGO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

POR

ENRIQUE FOSSA-MANCINI

LA PLATA
REPÚBLICA ARGENTINA
—
1947

INSTITUTO DEL MUSEO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
NOTAS DEL MUSEO DE LA PLATA
TOMO XII Geologia, N° 45

ALGUNAS OBSERVACIONES

SOBRE

EL METEORITO DE EL PERDIDO

(PARTIDO DE CORONEL DORREGO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

POR

ENRIQUE FOSSA-MANCINI

LA PLATA
REPÚBLICA ARGENTINA
1947

INSTITUTO DEL MUSEO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
NOTAS DEL MUSEO DE LA PLATA
TOMO XII Geología. N° 45

ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE EL METEORITO DE EL PERDIDO

(PARTIDO CORONEL DORREGO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

Por ENRIQUE FOSSA-MANCINI

I. ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE EL METEORITO DE EL PERDIDO

En los mapas más recientes de la provincia de Buenos Aires se buscaría en vano la localidad denominada « El Perdido ». Anteriormente se llamaba así cierta estación del ferrocarril Sur, línea Tandil a Bahía Blanca, que actualmente lleva el nombre de José A. Guisasola. El meteorito fué hallado en 1905, unos diez kilómetros al norte de esta estación. Estaba enterrado en tan poca profundidad que tropezó con él la reja de un arado. El peón que araba el campo vió que el obstáculo estaba constituído por una piedra de aspecto insólito, la recogió y la llevó a la casa próxima.

En septiembre de 1906 el señor Bennike, director de un diario dinamarqués *(Syd og Nord)* que se publicaba en la ciudad de Buenos Aires, donó al Museo de La Plata un fragmento de esta piedra, de 360 gramos de peso, acompañándolo con una carta en que indicaba en qué circunstancias se había producido el hallazgo. El doctor Walter Schiller, entonces jefe de la Sección Mineralógica de nuestro Museo, se trasladó de inmediato al lugar señalado por el señor Bennike y consiguió que los chacareros le cedieran el resto del meteorito, que tenían en su poder.

A fines de noviembre del mismo año, en el *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie* de Stuttgart, apareció una breve nota, enviada por el propio Schiller, dando cuenta de la

importante adquisición. Decía la nota, entre otras cosas, que el meteorito pesaba 30,260 kilogramos, y tenía de 30 a 33 centímetros de diámetro, siendo su forma irregularmente poliédrica, con muchos vestigios de fusión ; señalaba su parecido con una piedra meteórica de menor tamaño que había sido hallada muchos años antes en un lugar situado a unos cuarenta kilómetros de distancia, en dirección al nornordeste, en las cercanías de la estación Indio Rico de la línea Azul-Dorrego, en el partido Coronel Pringles ; y concluía afirmando que no es inverosímil que ambas piedras sean fragmentos de un mismo cuerpo celeste, pero que para comprobar si efectivamente es así se requeriría un buen análisis químico.

La composición química de la piedra meteórica de Indio Rico había sido determinada, unos veinte años antes, por Kyle, cuyo análisis, acompañado por interesantes consideraciones sobre sus posibles afinidades, apareció en 1887 en el tomo XXIV de los *Anales de la Sociedad Científica Argentina*. Fué justamente un brillante discípulo de Kyle, el doctor Enrique Herrero Ducloux, quien intentó la prueba que Schiller consideraba decisiva, analizando la piedra meteórica de El Perdido ; luego expuso los resultados de sus investigaciones en una sucinta nota que publicó en 1911, en el tomo XVIII de la *Revista del Museo de La Plata*, instituto del cual entonces era vice-director.

Comparando los dos análisis, podemos notar diferencias no despreciables, especialmente en los porcentajes de óxido férrico, de óxido ferroso, de magnesia y de cal ; pero se sabe que los meteoritos de este tipo (condritas) distan mucho de ser homogéneos, así que para conocer la composición química media de cada uno de ellos habría que pulverizar grandes fragmentos, cosa que nunca se hace, por cuanto se prefiere conservar la mayor parte posible de tan raros objetos. Todo análisis químico de una condrita sólo indica la composición química local, así como lo haría el análisis de un trozo de modesto tamaño de un conglomerado poligénico. Las discrepancias que podemos observar entre el análisis del meteorito de Indio Rico y el de El Perdido pueden depender únicamente de la falta de homogeneidad del material y, por consiguiente, no desmienten la hipótesis de Schiller ; pero no puede

decirse que los resultados analíticos militen decididamente en su favor. Llama particularmente la atención la presencia de 2,22 por ciento de cal en el análisis del meteorito de El Perdido y su ausencia completa en el análisis del meteorito de Indio Rico ; más adelante, en esta nota, indicaré las razones que me inducen a creer que la diferencia es imputable a la distribución irregular de gránulos de oldhamita.

La importante nota de Herrero Ducloux contiene, además de los resultados del análisis químico, otros datos muy interesantes.

A propósito del aspecto de meteorito, completa la sumaria descripción de Schiller, haciéndonos saber que « su superficie es desigual, llena de cavidades poco profundas y distribuídas sin regularidad y que recuerdan las impresiones que dejarían los dedos en la arcilla húmeda ; su color no es uniforme, aunque domina el tinte pardo rojizo, pero no escasean las manchas grises y rojas ; su fractura, difícil, ofrece caracteres distintos según la parte en que se produce, presentando superficies irregulares, de color más obscuro que en el exterior, con manchas azuladas, grisáceas y pequeños centros de brillo metálico, dando origen, por la acción de los agentes atmosféricos, a pequeños hongos rojizos que se asemejan a las exudaciones de cloruro de hierro señaladas en muchas rocas de la misma naturaleza ». Luego añade que aproximadamente la cuarta parte del material pulverizado es atraída por el imán, conteniendo « pequeños nódulos muy maleables, de gran dureza y de color gris metálico » cuyo peso sólo excepcionalmente pasa de un decigramo.

También indica los resultados de las determinaciones de densidad de dos fragmentos, que dieron 3,452 y 3,470 a 15°C.

En cuanto a la composición mineralógica del meteorito, Herrero Ducloux infirió, de sus análisis químicos, que debía haber olivina, troilita y una aleación de hierro y níquel cuya composición resultó corresponder a la de la camacita ; además logró aislar parte de la troilita y del metal y reconocerlos. Pero no pudo dar mayores datos acerca de la composición mineralógica por cuanto su estudio había sido encomendado a otro eminente hombre de ciencia, el profesor F. Berwerth, de Viena, a quien Schiller había

enviado algunos trozos de este meteorito, como también del de Indio Rico.

Herrero Ducloux menciona estas investigaciones de Berwerth, diciéndonos que el especialista vienés opinaba que « los cortes microscópicos de los meteoritos de Indio Rico y de El Perdido presentan un aspecto petrográfico sumamente semejante a tal punto que los dos trozos parecen ser fragmentos del mismo cuerpo celeste, teniendo en cuenta la distancia escasa de los dos hallazgos » y que « no era posible realizar observaciones más exactas por el estado de descomposición avanzada de las muestras examinadas ». Estas últimas palabras pueden significar que las preparaciones microscópicas examinadas por Berwerth habían resultado algo gruesas, así que las manchas y las vetitas de óxido de hierro (que efectivamente, en estas dos condritas, son productos de descomposición) les quitaban la transparencia necesaria para la determinación de los minerales mediante el microscopio de polarización. A este propósito, puedo decir que he sido más afortunado que Berwerth, por cuanto algunas semanas atrás el hábil preparador del taller de Mineralogía de nuestro Museo, señor Herminio López, ha confeccionado, utilizando pequeñas esquirlas, tres cortes delgados del meteorito de El Perdido y uno del de Indio Rico, resultando los cuatro perfectamente adecuados para el estudio petrográfico. Es evidente, pues, que el « estado de descomposición avanzada », de estas condritas hoy no constituye un obstáculo insuperable. Podría pensarse que en el tiempo en que Berwerth trató de estudiarlo (entre 1906 y 1911) el meteorito de El Perdido fuera algo deleznable, por no haber terminado aún la transformación de cierto mineral originario (que era, como veremos, cloruro ferroso) en ciertos minerales secundarios (que son óxidos e hidróxidos de hierro); pero no veo cómo podría conciliarse esta suposición con la alusión de Herrero Ducloux (1911, pág. 29) a la « fractura difícil » de este meteorito. Además no debía hallarse en las mismas condiciones el de Indio Rico, que ya había quedado expuesto al aire, en nuestro Museo, por unos veinte años.

Tengo la impresión de que Berwerth no se tomó muy a pechos

el estudio de los meteoritos de Indio Rico y de El Perdido, pues los he visto mencionados, en uno de sus escritos, con manifiesta inexactitud.

Me refiero a la segunda parte de su artículo titulado *Fortschritte in der Meteoritenkunde* (1912, págs. 232 y 234) que contiene, en una lista de meteoritos señalados entre 1900 y 1912, las indicaciones que transcribo a continuación :

« *El Perdido,* siehe Indio Rico ». (Pág. 232).

« *Indio Rico,* Provinz Buenos Ayres, Argentinien, Südamerika. Kristallinischer Chondrit. Gefunden 1887. Hierher El Perdido » (pág. 234).

Al parecer, en 1912 Berwerth ya había olvidado que estos dos meteoritos han sido hallados en lugares separados por una distancia de cuarenta kilómetros, aproximadamente, y que no se conoce algún indicio positivo de que hayan penetrado juntos en la atmósfera terrestre.

Herrero Ducloux volvió a referirse al meteorito de El Perdido, pero de una manera incidental, tanto en su importante estudio sobre la piedra meteórica de Hinojo (aparecido en 1929 en el tomo V de la *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de La Plata)* como en la brillante conferencia sobre *Proyectiles cósmicos* que pronunció en el Círculo Militar de Buenos Aires, el 17 de agosto de 1931 (publicada en el nº 368 de la *Revista Militar).*

En el trabajo sobre la piedra meteórica de Hinojo reprodujo el análisis de la de El Perdido, eliminando un error de imprenta que se había deslizado en la publicación de 1911 ; en ésta el porcentaje de sulfuro de hierro (troilita) parecía ser 1,347 y al sumar los porcentajes parciales se obtenía un total inferior a cien, mientras que en la publicación en 1929 vemos que el porcentaje de sulfuro de hierro es 3,704 y podemos comprobar que así el total resulta exactamente 100,000.

En *Proyectiles cósmicos* hallamos una lista de meteoritos argentinos con la indicación del grupo a que cada uno de ellos pertenece ; las piedras meteóricas de El Perdido y de Indio Rico están clasificadas como « erxlebenitas ». Tipo de este grupo, o familia, es la

condrita cristalina que cayó el 15 de abril de 1812 en Erxleben, no lejos de Madgeburgo, provincia de Sajonia.

En el catálogo de los meteoritos del British Museum compilado por G. T. Prior en 1923, la piedra meteórica de El Perdido es designada como una condrita cristalina; el asterisco antepuesto al nombre de este meteorito nos dice que el British Museum no poseía fragmento alguno y deseaba obtenerlo, así que es de suponer que Prior no disponía de otras fuentes de información que la breve nota de Schiller de 1906, la publicación de Herrero Ducloux de 1911, los escasísimos datos que figuran en el trabajo de Berwerth, de 1912, y la *Guía y catálogo de la colección de meteoritos existentes en el Museo de La Plata*, por M. Kantor, que apareció en 1920 en el tomo XXV de la *Revista del Museo*. En realidad la *Guía* de Kantor podría omitirse en esta brevísima lista de las fuentes de información, por tratarse de una obra esencialmente de compilación; es natural, pues, que en ella no hallemos dato alguno que ya no esté consignado en las notas de Schiller (1906) y de Herrero Ducloux (1911).

II. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y COMPOSICIÓN MINERALÓGICA VIRTUAL (« NORMA ») DEL METEORITO DE EL PERDIDO

El cuadro analítico que doy a continuación es una transcripción de la primera columna del que fué publicado por E. Herrero Ducloux en 1929 *(Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de La Plata,* tomo V, 2ª parte, pág. 6); sólo he modificado ligeramente el orden de los óxidos para seguir el que me he acostumbrado a emplear en los análisis de rocas magmáticas y que me parece más cómodo para el cálculo de la composición mineralógica virtual.

SiO_2	35,091
Al_2O_3	5,305
Fe_2O_3	17,994
FeO	5,844
NiO	0,695

MnO	0,431
MgO	18.397
CaO	2,220
Na_2O	1,205
K_2O	0,096
Fe	6,571
Ni	0,550
FeS	3,704
H_2O y pérdida	1,897
	100,000

Lo que más llama la atención, en este cuadro, es el porcentaje elevadísimo de óxido férrico. Entre los 125 análisis de piedras meteóricas publicados por Farrington en 1911, sólo he visto 12 en que se ha determinado el óxido férrico, hallándose valores inferiores a 5 por ciento en ocho casos, y comprendidos entre 5 y 10 por ciento en otros tres casos; el máximo corresponde a la condrita cristalina de Pickens County (Georgia, Estados Unidos de Norte América), con 10,69 de óxido férrico sobre un total de 101,05. En general, en las piedras meteóricas el óxido ferroso es mucho más abundante que el férrico; las únicas excepciones de que tengo noticia están constituídas por las condritas de Pickens County y de El Perdido, que fueron halladas enterradas en el suelo, en el cual pueden haber permanecido durante muchos años. No me parece aventurado suponer que en ambos casos se haya producido la oxidación de una parte del óxido ferroso de los silicatos o bien del hierro metálico; la segunda alternativa es la que considero más verosímil. En cualquier caso, hay buenas razones para temer que el análisis de estos dos meteoritos no reflejen su composición originaria, sino más bien el resultado de un proceso de alteración causado por la acción del oxígeno atmosférico y del agua.

Del cuadro se deduce que la relación entre hierro metálico (6,571 por ciento) y níquel metálico (0,550 por ciento) es de 11,95 a 1, o sea que el níquel constituye el 7,72 por ciento del metal.

Desde hace más de veinte años el British Museum ha adoptado la clasificación de Prior, que se funda en su observación de que en general cuanto más rico en níquel es el metal, tanto más ricos en óxido ferroso son los silicatos magnesianos (piroxenos y olivina).

Según Prior (1926, págs. 19 y 21 ; 1929, pág. 342) la relación Fe:Ni es mayor de 13 en las condritas con enstatita, está comprendida entre 8 y 13 en las condritas con broncita y no llega a 8 en las condritas con hipersteno; además la olivina se asociaría al hipersteno y a la broncita, pero no a la enstatita.

Aplicando a nuestro caso el criterio de Prior, se debería suponer que en la condrita de El Perdido hay broncita y olivina, siendo ambas pobres en hierro, por cuanto 11,95 se aproxima mucho más a 13 que a 8.

Farrington, en 1911, quiso extender a las piedras meteóricas la clasificación química cuantitativa de las rocas magmáticas ideada por Cross, Iddings, Pirsson y Washington. Esta clasificación exige el cálculo previo de la composición mineralógica virtual, o « norma », suponiendo que la roca esté constituída únicamente por ciertos minerales de composición bien definida y relativamente sencilla y que estos minerales se formen siempre sucesivamente en el mismo orden. Las relaciones entre la cantidad de algunos grupos de minerales virtuales (siempre en peso), o bien las relaciones moleculares entre ciertos óxidos dados por el análisis, permiten delimitar grupos taxonómicos de distinta categoría (clases, subclases, órdenes, subórdenes, rangos, subrangos, grados y subgrados) ; los grupos llevan nombres con terminaciones homófonas características y la posición taxonómica de cada roca de que se posea un análisis químico puede ser indicada mediante un símbolo formado por dos números romanos (de I a V) y por algunos números arábigos (de 1 a 5, salvo el primero que puede llegar a 9).

Farrington calculó la composición virtual de muchísimos meteoritos analizados por otros, estableciendo la posición taxonómica correspondiente. Su obra fué considerada de utilidad por eminentes estudiosos de meteoritos, como A. Lacroix en Francia y E. Herrero Ducloux en nuestro país.

Numerosas son las monografías de piedras meteóricas argentinas publicadas por Herrero Ducloux ; en todas ellas hallamos un análisis químico completo y minucioso acompañado (salvo en un caso) por el cálculo de la composición mineralógica virtual, o « norma », y por la indicación de la posición taxonómica correspondiente,

según las ideas de Farrington. La excepción a la que acabo de aludir está constituída justamente por el trabajo sobre el meteorito de El Perdido, que se hallaba en imprenta (si es que no había sido ya publicado) cuando apareció, en junio de 1911, en Chicago, la publicación donde Farrington propuso su clasificación química cuantitativa de las piedras meteóricas.

Partiendo del análisis de Herrero Ducloux que he reproducido en las páginas 98 y 99, y aplicando estrictamente el procedimiento indicado por Farrington, he obtenido esta composición mineralógica virtual :

Ortoclasa	0,6	
Albita	10,4	F 19,9
Anortita	8,9	
Diópsido	1,8	
Hipersteno	32,4	P 34,2
Olivina	9.5	O 9,5
Magnetita	22,9	
Hematita	2,7	M 25,6
Troilita	3,7	
Hierro-níquel	3,1	A 10,8

De los diez minerales virtuales que anteceden, ocho tienen composición definida mientras en los otros dos (hipersteno y olivina) puede variar la proporción entre óxido de magnesio y óxido ferroso. En el caso particular del meteorito de El Perdido, toda la modesta cantidad de óxido ferroso es requerida para formar magnetita, así que nada queda de óxido ferroso para los silicatos ; por consiguiente, lo que figura en la lista bajo la denominación de hipersteno (impuesta por las reglas de Farrington) en realidad es enstatita pura y la olivina es forsterita pura. Tendríamos pues la asociación de enstatita y de olivina en la misma condrita, contrariamente al principio en que se funda la clasificación de Prior.

Los primeros tres minerales virtuales de la lista equivalen en conjunto a una plagioclasa con el 60 por ciento de anortita, o sea a la labradorita teórica ; pero también pueden equivaler a la asociación de una pequeña cantidad de ortoclasa (0,6 por ciento) con una cantidad considerable (19,3 por ciento) de una labradorita ligeramente básica (con el 62 por ciento de anortita). En ambos

casos, la proporción total de feldespato es 19,9 por ciento, en peso.

En la « norma » predominarían, entre los silicatos, los piroxenos (34,2 por ciento), luego vendría el feldespato (19,9 por ciento) y finalmente la olivina (9,5 por ciento); los minerales opacos (magnetita, hematita, troilita y hierro níquel) constituirían el resto (34,6 por ciento) de la condrita.

Siendo la densidad de estos minerales opacos mucho más elevada que la de los feldespatos, de los piroxenos y de la olivina, estos silicatos deberían constituir más que las dos tercias partes del volumen total de la condrita.

Veremos más adelante que la composición mineralógica virtual deducida del análisis químico difiere mucho de la composición mineralógica real.

La posición que corresponde asignar a la condrita de El Perdido en la clasificación de Farrington, se deduce fácilmente de las proporciones ponderales de los minerales virtuales y de las proporciones moleculares de algunos de los óxidos que figuran en el análisis químico. Para expresarla basta decir que nuestra condrita pertenece al subrango 2 de la sección 1 del rango 1 del suborden 2 del orden 2 de la subclase II de la clase V; o bien se la puede definir como perfemic dosilicic dopolic dopyric permirlic permiric domagnesic.

Esta clasificación, cuya utilidad en general es muy discutible, en nuestro caso tiene el mérito de poner de relieve el carácter excepcional de la composición mineralógica virtual de la condrita de El Perdido, pues al orden 2 (dopolic) de la subclase II (dosilicic) de la clase V (perfemic) no pertenece ninguna de las 125 piedras meteóricas clasificadas por Farrington en 1911, utilizando casi todos los buenos análisis químicos publicados anteriormente.

III. ASPECTO ACTUAL DEL METEORITO

Durante muchos años la piedra meteórica de El Perdido quedó en exhibición, sin que nadie la tocara, en cierto mueble destinado a alojar los meteoritos argentinos y situado en la parte mediana de la sala I del Museo de La Plata. Con el transcurso del tiempo

nuestra colección se enriqueció con nuevas e interesantes piezas que no pudieron colocarse en aquel mueble, cuya capacidad resultaba insuficiente. En el mes de agosto del año corriente, habiendo quedado terminadas dos nuevas y amplias vitrinas construídas expresamente para la exhibición de nuestros meteoritos, se procedió al traslado de los que habían permanecido durante tanto tiempo en el viejo mueble.

Al examinar de cerca la condrita de El Perdido antes de moverla, advertí que ya no presentaba el aspecto descrito por Herrero Ducloux en 1911. Su forma había cambiado (y su peso había disminuído en casi ócho kilogramos) a causa de las mutilaciones efectuadas para envíar una parte al Museo de Viena y para obtener material para los análisis químicos; y diferia tanto de la originaria que no resultó fácil identificar, al principio, algunos calcos del meteorito entero guardados en un depósito y desprovistos de rótulo y de cualquier otra indicación ; en cambio la forma correspondía perfectamente a la representada por la figura 7 de la *Guía y Catálogo* de Kantor (1920). El color del meteorito, en el transcurso de 35 años, también se había modificado. Ya no se podía decir pardo rojizo; era más bien gris oscuro tirando al pardo. Las manchas más evidentes eran de color amarillo o anaranjado, como de ocre, y no grises ni rojas.

Temiendo que la alteración padecida por efecto de la prolongada exposición al aire húmedo de La Plata hubiera disminuído la solidez de la piedra, quise transportarla personalmente de la vitrina vieja a una de las nuevas ; a pesar del cuidado que puse en mi primera tentativa de levantar el meteorito, de su parte superior (que mis manos aun no habían tocado) se separó un fragmento relativamente delgado pero de considerable extensión y la superficie de separación se presentó manchada de amarillo. Mi primera impresión fué que la transformación de algún mineral originario en hidróxido de hierro tuviera algo que ver con la espontánea fragmentación ; entonces pensé en utilizar parte del fragmento que se había desprendido, con el propósito de reconocer cuál era este mineral y así empecé una serie de sencillas observaciones, de las cuales doy cuenta en la presente nota.

Actualmente la masa principal del meteorito parece bastante compacta y firme, así que podríamos confiar que no haya otras grietas destinadas a ensancharse por el aumento de volumen que probablemente acompaña la formación de limonita, a expensas de un mineral originario anhidro; pero, para mayor seguridad, ahora se ha tomado la precaución de proteger la piedra mediante una delgadísima capa de goma laca, procedimiento que ha dado buenos resultados en otros museos.

IV. PRODUCTOS DE LA ALTERACIÓN DE LA LAWRENCITA

En una de las superficies de rotura según las cuales se han separado trozos del meteorito al intentar sacarlo del viejo mueble, llama la atención una gran mancha redonda, terrosa, de color de herrumbre; al lado, se nota una pequeña área bien negra, con reflejos azulados, que parece contener un sinnúmero de puntitos brillantes. Ambas se destacan netamente sobre el fondo gris obscuro, tirando al pardo, de aquella parte de la superficie de rotura que presenta un aspecto relativamente uniforme a quien la mire sin la ayuda de la lupa.

Empleando una buena lupa binocular, con un aumento de veinte diámetros, he comprobado que la mancha terrosa color de herrumbre está constituída por la asociación de numerosísimas laminillas, cuya forma parece ser la de un prisma hexagonal extraordinariamente achatado. El largo de las aristas que limitan las caras exagonales está comprendido, en general, entre 4 y 8 décimos de milímetro; no he logrado medir el espesor de las laminillas, pero he visto que es relativamente constante; estimo que no llega a 3 centésimos de milímetro. Estos valores se refieren a la región que he examinado; ignoro si las laminillas que forman otras manchas presentan las mismas dimensiones. La superficie de todas las laminillas observadas llama la atención por su aspecto uniformemente mate, mientras el color en ciertas partes es el del más típico ocre amarillo y en otras es bastante más claro. Las laminillas están asociadas paralelamente en paquetes, comparables, en miniatura,

a los de mica que se hallan en ciertas pegmatitas; pero en nuestro caso la orientación de los paquetes de láminas es muy variable, así que quedan intersticios relativamente grandes y de forma irregular entre paquete y paquete.

Esto indica, a mi parecer, que todo el conjunto de laminillas se ha formado al cristalizar libremente el mineral sobre una superficie de rotura que limitaba una grieta de ancho relativamente considerable, en relación con el tamaño de las laminillas; pero esto no excluye la posibilidad de que posteriormente la alteración del mineral originario haya determinado un aumento de volumen suficiente para ensanchar la grieta y provocar o facilitar la rotura del meteorito.

Mis tentativas de aislar algunas laminillas o aun paquetes de laminillas, han fracasado por completo. La más ligera presión de las puntas de las pinzas, o de agujas de preparación, desmenuza las laminillas en partículas menudísimas que, si la presión continúa, luego se sueldan en pequeñas masas terrosas. Las partículas que he logrado separar y llevar bajo el microscopio de polarización eran translúcidas en los bordes, ópticamente isótropas y en luz reflejada presentaban color amarillento claro. Seguramente están constituídas por alguno de los hidróxidos de hierro no cristalinos que solemos comprender bajo la denominación, algo vaga, de limonita.

Es evidente, pues, que ha habido pseudomorfosis, y hay poderosas razones para suponer que se trata de pseudomorfosis por alteración, siendo sumamente probable que el mineral originario fuera lawrencita. Es sabido que la lawrencita cristaliza en el sistema hexagonal con hábito laminar y que, estando constituída por cloruro ferroso anhidro (que es deliquescente) se altera rapidísimamente cuando queda expuesta al aire húmedo. También se sabe que el cloruro ferroso hidratado se transforma luego en cloruro férrico, que éste a menudo exuda en gotas a la superficie de los meteoritos donde puede formar grumos (la « stagmatita » de A. Daubrée), y que al final se llega a la formación de un óxido o de un hidróxido de hierro, de acuerdo con las condiciones del ambiente. Recuerdo a este propósito, que E. Herrero Ducloux (1911,

pág. 30) ya había notado, en superficies de fractura de la piedra meteórica de El Perdido, «manchas azuladas grisáceas y pequeños centros de brillo metálico, dando origen, por la acción de los agentes atmosféricos, a pequeños hongos rojizos que se asemejan a las exudaciones de cloruro de hierro señaladas en muchas rocas de la misma naturaleza».

El área negra con reflejos azulados, que a simple vista deja ver innumerables puntitos brillantes, corresponde a una drusa de cristales microscópicos bien formados, de aristas netas; las caras que reflejan la luz aparecen de color gris claro con un brillo metálico marcadísimo, mientras las otras parecen perfectamente negras. El tamaño de estos cristales es relativamente uniforme y en general es algo inferior a un décimo de milímetro. La determinación de la forma cristalina no siempre es posible, debido a la pequeñez de los individuos, pero he logrado ver que algunos de ellos presentan la forma de romboedros ligeramente alargados, siendo los ángulos planos de sus caras próximos a 85 y 95 grados. Esta forma no es rara en la hematita, correspondiendo al romboedro unitario.

No he conseguido aislar ninguno de estos cristales, por cuanto están implantados muy sólidamente en la superficie originaria de la grieta. Haciendo fuerza con una punta de acero, he obtenido esquirlitas chatas de uno a dos milímetros cuadrados de superficie y pocos décimos de milímetro de espesor, que dejaban ver que los pequeños romboedros no están amontonados, sino que forman, en conjunto, un revestimiento delgado cuyo espesor no excede la altura de un cristal (o sea, la diagonal mayor del romboedro). Triturada una de estas diminutas esquirlas y llevados los trocitos bajo el microscopio de polarización, he notado una gran abundancia de fragmentos de hematita y de olivina y la presencia de escasos fragmentos de un piroxeno con extinción recta; tanto la olivina como el piroxeno aparecían perfectamente incoloros donde no estaban cubiertos, parcial o totalmente, por velos ferruginosos de color amarillo, anaranjado, rojizo o pardusco.

Todo parece indicar que la drusa de cristales pequeñísimos de hematita se ha formado sobre una superficie que cortaba condros de olivina y de piroxeno; este delgado revestimiento de hematita

debe su origen, a mi juicio, a la alteración de cloruro férrico formado a expensas de la lawrencita después de la caída del meteorito.

En otras partes de la misma superficie de rotura también he notado manchitas negras con muchísimos puntos brillantes que a simple vista difieren muy poco de las que están constituídas por romboedros microscópicos de hematita; pero con la ayuda de una buena lupa ya pueden apreciarse diferencias importantes. Con un aumento de veinte diámetros se ve distintamente que los cristales bien formados son pocos y que la substancia negra brillante forma una costra ondulata que simula una estructura botrioidal y en ciertos puntos presenta los reflejos irisados de las películas delgadas. En realidad, aquí también hay un revestimiento de hematita secundaria, pero éste es muy delgado y se adhiere a la pared originaria de la fractura en un trecho en que los condros no se hallan unidos por un cemento muy resistente; los condros no se han roto, la fractura ha resultado granulosa, y el velo de hematita reproduce, atenuándolas algo, las convexidades de los condros que parcialmente reviste. En este caso, pues, los puntos brillantes perceptibles a simple vista no corresponden a caras de cristales sino a las partes convexas de la superficie ondulada que reflejan la luz. Al parecer, en esta región de la grieta, la transformación del cloruro de hierro en sesquióxido ha sido tan rápida que no ha permitido la formación de cristales visibles con aumentos de algunas decenas de diámetros; tampoco he logrado distinguir cristales en el material triturado, observándolo al microscopio con aumentos relativamente fuertes, pero he comprobado que el velo ferruginoso está formado por hematita.

En algunos puntos de las superficies de rotura he visto botoncitos de brillo metálico, más pequeños que cabezas de alfileres, de color rojo muy obscuro, o negro con reflejos rojizos; triturándolos se obtienen grupos de cristales microscópicos, en asociaciones aparentemente paralelas, que por sus propiedades ópticas y la presencia de tres clivajes ortogonales (uno de los cuales es poco marcado) parecen ser de lepidocrocita. Probablemente los botoncitos de brillo metálico están formados por varias envolturas hemisféricas concéntricas y cada una de ellas contiene un número

enorme de cristales pequeñísimos dispuestos radialmente y, por consiguiente, divergentes; pero cristales contiguos forman ángulos tan pequeños que nuestros ojos no pueden apreciarlos, y por esta razón creemos ver una asociación paralela en los trocitos que observamos.

V. INDICIOS DE LA PRESENCIA DE OLDHAMITA ENTRE LOS MINERALES PRIMARIOS DE LA CONDRITA

En varias partes de la condrita de El Perdido he visto que las grietas que han causado el desprendimiento de fragmentos están tapizadas parcialmente, y justamente cerca de la superficie originaria del meteorito, por un depósito blanquecino cuyo espesor varía entre medio milímetro y dos milímetros. En algunos trechos he podido comprobar que entre este revestimiento blanquecino y la masa condrítica había una delgadísima costra grisácea, translúcida, flexible y muy elástica, que se desprendía con él cuando yo trataba de aislar un poco de material para observarlo al microscopio.

La costra translúcida está constituída esencialmente por un vidrio relativamente claro, de índice de refracción superior al del bálsamo de Canadá, que contiene numerosísimas inclusiones de hematita. Estas inclusiones difieren mucho entre sí en forma y tamaño, aunque siempre son muy delgadas; su disposición es muy irregular y no proporciona algún indicio de la presencia de una «estructura fluidal» en la costra vítrea. El vidrio puede haberse formado por fusión de los silicatos de la condrita (olivina y piroxeno) al atravesar la atmósfera terrestre, penetrando inmediatamente en la parte exterior de algunas grietas; así se explica la facilidad con que la costra vítrea se separa de la masa condrítica, a la cual quedaría firmemente adherida en el caso de deber su origen al aumento de temperatura causada por frotamientos internos (hipótesis de las pseudotaquilitas de origen cósmico, formulada por Lacroix en 1926).

La substancia blanquecina que reviste en parte ciertas grietas

está constituída esencialmente por cristales microscópicos de yeso, dispuestos con cierta regularidad.

Dada su situación, tan próxima a la superficie exterior de la condrita, se puede pensar que el yeso se haya formado por acción de aguas cargadas de sulfato de calcio que circulaban en el terreno en que quedó enterrado el meteorito después de su caída; pero también puede suponerse que se haya formado yeso por alteración de un mineral originario del meteorito. Veremos ahora que la segunda hipótesis es la más verosímil.

Cuando noté los primeros indicios de que la limonita que forma las grandes manchas amarillas es pseudomórfica de lawrencita, quise ver si el meteorito de El Perdido contenía todavía cloruros de hierro. Trituré pues un trocito del meteorito, separé mediante el imán la parte magnética, pulvericé finamente el resto (algo así como medio gramo) y lo puse en un tubo de ensayo con agua destilada fría. Tres días después tomé una pequeña parte del líquido para el ensayo de los cloruros; el resultado fué negativo. Entonces traté de concentrar la solución calentándola directamente a la llama, y noté que se formaban filamentos pardos que luego, al enfriarse el líquido, caían lentamente al fondo del tubo. Terminé la evaporación en una cápsula, obteniendo un residuo de color castaño y de aspecto fibroso y brillante. Observándolo al microscopio de polarización distinguí dos substancias: una parda, ópticamente isótropa y aparentemente amorfa, y otra de color amarillo muy claro, dotada de altísimo índice de refracción y de birrefracción elevada, formando bipirámides de ocho caras. En estos cristales bipiramidados, con extinción simétrica, creí reconocer el azufre; y comprobé que así era cuando los vi disolverse completamente en una gota de sulfuro de carbono, que luego, al evaporar, dejó en el portaobjeto otros cristales semejantes, pero más perfectos.

Disolviendo parte del residuo de color castaño en ácido clorhídrico y haciendo evaporar la solución en una cápsula, obtuve un residuo blanco deliquescente rodeado, a manera de delgadísima aureola, por otro igualmente deliquescente pero de un color verde que tira al azulado; al parecer, un poco de cloruro de níquel estaba aso-

ciado a una cantidad mucho mayor de cloruro de calcio. No observé vestigio alguno de cloruro férrico.

Para explicar los resultados de estos sencillísimos ensayos, me veo obligado a sospechar que en el trocito de condrita que he pulverizado hubiera un pequeño nódulo de oldhamita ; el sulfuro de calcio se habría disuelto en parte en el agua fría y luego, a la ebullición, se habría transformado en un polisulfuro que posteriormente a una temperatura más elevada puede haberse disociado dejando en libertad un poco de azufre. En cuanto a la presencia de una pequeñísima cantidad de níquel, indicada por el color peculiar del borde del casquete de residuo que quedó en la cápsula, no parece muy verosímil que proceda de una impureza originaria de la oldhamita ; pero, dadas las precauciones que he tomado, no veo otra explicación.

Si la condrita de El Perdido contiene efectivamente oldhamita, así como lo supongo, su cantidad debe ser escasa y su distribución irregular, pues sometiendo a la misma serie de ensayos otros dos fragmentos del meteorito, previamente pulverizados, no he obtenido ninguno de los resultados que se produjeron la primera vez. Esto no significa necesariamente que la oldhamita ha sido originariamente tan escasa ; puede ser que en su mayor parte se haya descompuesto, dando lugar a la formación de yeso, mientras quedaban intactos unos pocos nódulos, probablemente por estar protegidos de la alteración por una delgadísima envoltura de óxido férrico o de otra substancia relativamente resistente a la acción del agua y del oxígeno de la atmósfera terrestre. La presencia de uno de estos nódulos protegidos en el primer fragmento que trituré explicaría perfectamente los resultados que he obtenido.

La presencia de la oldhamita en el meteorito de El Perdido no está en desacuerdo con los datos analíticos publicados por Herrero Ducloux. Lo que, a mi modo de ver, podría justificar dudas es el hecho de que la oldhamita, hallada más de una vez en condritas sin olivina, no figura en las descripciones de condritas con olivina que he logrado consultar ; pero no me parece un argumento decisivo en contra de mi hipótesis, por cuanto la asociación de condros de enstatita con condros de olivina y con condros formados

por ambos silicatos induce a atribuir a la condrita de El Perdido el carácter de una roca poligénica más bien comparable a una tufita que a una toba.

VI. MINERALES DE BRILLO METÁLICO

Examinando en luz reflejada una preparación pulida de esta condrita, se aprecia bien la relativa abundancia del hierro niquelífero y su distribución algo irregular. Las secciones de los individuos de metal suelen presentar contornos mixtilíneos, muy angulosos; a veces recuerdan la forma de caracteres hebraicos o persas. En general, estas pequeñas masas metálicas tienen dimensiones modestísimas, el diámetro de las secciones pasando raras veces de tres décimos de milímetro. El análisis de Herrero Ducloux indica una proporción de aproximadamente 7 por ciento, en peso, de hierro niquelífero; ella equivale a menos del 3,5 por ciento de volumen, pues la densidad de cualquiera de las aleaciones de hierro y níquel de los meteoritos es más que el doble de las densidades determinadas por Herrero Ducloux en dos fragmentos de la condrita de El Perdido. Recuerdo, a este propósito, que los valores hallados por el distinguido investigador son 3,470 y 3,452 (a 15°C); la diferencia entre ellos es tan pequeña, que puede inducir a suponer que la composición mineralógica de esta condrita sea muy uniforme. En realidad no puede ser así, pues en la superficie de la preparación pulida el metal ocupa mucho más que el 3,5 por ciento del área total.

En la misma sección pulida se destaca, por su color y su brillo, la troilita. A veces se presenta en partículas de forma alargada, arrimadas a los granos de hierro niquelífero; más a menudo forma vetitas tortuosas, ramificadas o no, que atraviesan la condrita en varias direcciones. La presencia de la troilita fué señalada por Herrero Ducloux en 1911; de los resultados de su análisis dedujo que este mineral constituía el 3,71 por ciento, en peso, de la nuestra. Al parecer, también hay otro mineral opaco al borde de ciertas vetitas de troilita; su aspecto en luz reflejada recuerda al

del estaño o de la plata, pero se presenta en partículas demasiado pequeñas para que me sea posible determinarlo con los elementos de que dispongo. En un primer momento pensé que se trataba de schreibersita, pero en este caso el analista habría hallado por lo menos vestigios de fósforo, salvo que la distribución de este mineral sea aun mucho más irregular que la del hierro niquelífero.

No son raras las partículas de metal, o aun de troilita, que aparecen rodeadas por un borde negro constituído por la asociación de numerosísimos granos opacos que, en determinadas posiciones, presentan reflejos metálicos muy netos. En ciertos casos el borde no es negro, sino de color pardo rojizo muy obscuro y parece completamente desprovisto de reflejos metálicos. Probablemente se trata de dos variedades de hematita que se dejan reconocer más fácilmente en ciertas superficies de rotura espontánea.

En la preparación pulida las secciones de los condros tienen el aspecto de manchas pardas de contornos pocos regulares. No se notan las diferencias de estructura que, como ahora veremos, son marcadísimas.

VII. LOS CONDROS

A. CONDROS DE PIROXENO FIBROSOS

En los cortes delgados de la condrita de El Perdido es fácil observar la constitución de los condros, mientras los minerales interpuestos entre los condros resultan muy difíciles de determinar, debido a la gran abundancia de óxidos e hidróxidos de hierro, opacos o apenas translúcidos.

Algunos condros presentan la típica estructura fibrosa en abanico ; a veces se nota que las fibras constituídas por un piroxeno rómbico irradian de un punto situado en la misma superficie del condro. En otros casos la sección no pasa por este punto de irradiación o en sus inmediaciones, y entonces el aspecto es diferente, pues todas las fibras resultan cortadas transversalmente. La pequeñez de los individuos de piroxeno no permite la observación de los caracteres ópticos más importantes para determinar si se trata

de enstatita o de broncita; pero en otros condros el mismo piroxeno se presenta íntimamente asociado con olivina, y la comparación de los índices de refracción de estos minerales me ha inducido a suponer que estamos en presencia de un piroxeno muy pobre en hierro y muy rico en magnesio. En los condros del primer tipo he observado inclusiones opacas, numerosas y pequeñas, que parecen ser de magnetita; ellas suelen ser más abundantes en la parte del condro que está más lejos del centro de radiación de las fibras de piroxeno. Los contornos de los condros por lo general no son circulares, sino que presentan senos y ángulos entrantes que indican que se ha perdido algo de la masa globular originaria. Líneas o bandas pardo-amarillentas, o pardo-rojizas, corresponden a vetitas de óxidos de hierro que llenan grietas. Éstas, por su forma y disposición, revelan que han sido causadas por fuertes presiones. En algunos condros un sistema de vetitas paralelas corta otro sistema. El ancho de las fibras de piroxeno, relativamente constante en cada condro, varía entre 15 y 25 micrones.

Estos condros fibrosos constituídos únicamente por piroxeno son relativamente grandes; en las diecisiete secciones que he logrado medir, el diámetro varía desde un máximo de 1,4 milímetro hasta a un mínimo de 0,2 milímetros, siendo posible que las secciones menores pasen lejos del centro del condro, en cuyo caso el diámetro de aquéllas podría ser mucho menor que el diámetro de éste. Más de la mitad de los condros fibrosos del piroxeno son incompletos; de algunos queda sólo un segmento con marcados indicios de desgaste en los bordes.

Los condros de piroxeno son poco numerosos y su distribución es muy irregular, como lo indica el hecho de que su número por centímetro cuadrado es 1,8 en uno de los cortes delgados que he examinado, 4,2 en otro, y 5,0 en el tercero. Los condros de olivina son mucho más numerosos.

B. CONDROS DE PIROXENO MONOSOMÁTICOS

Están formados, al parecer, por el mismo piroxeno rómbico que constituye los condros globulares fibrosos. Los condros mono-

somáticos de piroxeno son muy escasos y relativamente de gran tamaño, pues sus secciones miden de 0,7 a 1,2 milímetros de largo y de 0,5 a 0,8 milímetros de largo. Las trazas de los clivajes prismáticos se destacan muy netamente por haberse formado velos parduscos de óxido de hierro a lo largo de las superficies de clivaje. Todos estos condros presentan vetitas parduscas aproximadamente paralelas que atraviesan las trazas de los clivajes prismáticos. Éstas, en uno de los condros monosomáticos, no son rectilíneas, sino que presentan una curvatura bien perceptible ; la extinción de este individuo de piroxeno es ondulante, indicando la intensidad de la acción cataclástica a que estuvo expuesta la condrita de El Perdido.

C. condros de olivina monosomáticos

Entre los condros de olivina, hay algunos que están constituídos evidentemente por un solo individuo y otros que están formados por una asociación de individuos originariamente independientes unidos, al parecer, por cementación parietal, como los granos de cuarzo de ciertas areniscas. Pero también hay, y son los más numerosos, condros de pura olivina que, aunque parecen polisomáticos, pueden deber su origen a la fracturación *in situ* y pulverización parcial, con producción de lo que los petrógrafos de habla alemana llaman Mörtelgefüge o Mörtelstruktur.

Muy interesantes son los condros monosomáticos bien conservados, que desgraciadamente son raros. Sus dimensiones, en las secciones que he observado, llegan a 1,2 milímetros de largo y a 0,8 de ancho ; al parecer, la cara (010) suele ser más desarrollada que la cara (100), así que las secciones paralelas a ésta resultan alargadas en la dirección del clivaje menos imperfecto. En esta misma dirección aparecen, en algunos individuos, hileras de inclusiones muy pequeñas y de forma irregular. Una vez he tenido la impresión de que también hubiera inclusiones alineadas de mayor tamaño (como gránulos de uno a dos centésimos de milímetro de diámetro), cuyo índice de refracción a veces parece más

elevado que el de la olivina que las contiene y a veces menor; en realidad no hay tales inclusiones, sino tan sólo zonas de menor resistencia, paralelas a la cara (010), en las cuales se ha producido la trituración de la olivina. La diferente orientación de las partículas de estas brechas microscópicas explica cómo el índice de refracción de las supuestas inclusiones puede resultar mayor o menor que el de la olivina intacta. La gran mayoría de los condros monosomáticos de olivina presenta una red de vetitas pardas o rojizas, comúnmente isótropas pero a veces con polarización de agregado, que constituyen el relleno de numerosísimas grietas.

En algunos condros monosomáticos la cataclasis es pronunciada en un trecho de la zona exterior, donde se ha formado una lúnula de brecha microscópica; en otros, la trituración se ha producido todo alrededor, así que ha quedado un núcleo de olivina intacta rodeado por una corona con aspecto de brecha.

A menudo los condros monosomáticos están atravesados por más de un sistema de vetitas paralelas, rojizas, pardas o negruzcas.

No faltan inclusiones opacas; en luz reflejada algunas de ellas aparecen negras, otras gris claras con marcado brillo melálico. A veces, estas inclusiones presentan un núcleo claro de brillo metálico rodeado por un borde negro. Si el núcleo está constituído por hierro-níquel y el borde por magnetita, lo cual me parece verosímil, habría por lo menos un óxido de hierro entre los minerales primarios de la condrita.

D. CONDROS DE OLIVINA POLISOMÁTICOS

Los condros seguramente polisomáticos, que son muy pocos, se caracterizan por la relativa uniformidad de los granos de olivina, más o menos redondeados, que los constituyen y por no estar atravesados por muchas vetitas pardas, rojizas o negras. He medido las secciones de dos de estos condros, hallando en ambos casos un diámetro máximo de 0,6 milímetros y un diámetro mínimo de 0,5.

Son extraordinariamente abundantes los condros que podríamos llamar pseudopolisomáticos. Cada uno de ellos parece constituído

por muchos individuos independientes, pero no son pocos los indicios de que se trata de fragmentos de un único cristal de olivina triturado que han cambiado su orientación sin perder el contacto entre sí. Los condros de este tipo predominan considerablemente sobre los otros en los tres cortes delgados que he examinado.

En su excelente estudio sobre la condrita de Santa Isabel, Pastore (1925, pág. 304, lám. I, fig. 3) ha descrito, e ilustrado mediante expresiva figura, cierto tipo de condro, constituído por un solo individuo cristalino de olivina, dividido a manera de parrilla por interposiciones vítreas alargadas paralelas. En la piedra meteórica de El Perdido también hay algunos condros que presentan justamente estos caracteres, pero difieren de los de la condrita de Santa Isabel por su tamaño menor (no pasando su diámetro de un cuarto de milímetro) y por el color del vidrio, que es pardo rojizo obscuro. En las preparaciones que he examinado no se ve si las listas de olivina se hallan, o no, en conexión ; es verdad que en cada uno de estos condros todas las listas presentan los mismos colores de interferencia y extinguen contemporáneamente (como lo hace el cuarzo en las micropegmatitas), pero esto ocurriría igualmente si se tratara de varios individuos cristalinos independientes orientados de la misma manera. Por esta razón, no estoy completamente seguro de que los condros de este tipo pertenezcan al grupo de los monosomáticos, aunque los he incluído en él, siguiendo el ejemplo de autoridades como Pastore (1925) y Merrill (1930, pág. 32).

E. CONDROS MIXTOS, DE OLIVINA Y PIROXENO

Los hay de dos tipos y ambos son raros.

Los condros del primer tipo son asociaciones de grano de tamaño poco diferente y que deben poseer forma de poliedro, pues la sección del condro presenta el aspecto de un mosaico; el diámetro de los granos no suele pasar de ocho centésimos de milímetro y la sección, aproximadamente circular, del condro mide unos siete décimos de milímetro, o algo más. El número de los granos de olivina es más o menos igual al de los granos de piroxeno róm-

bico, pero éstos por lo general son un poco más grandes, así que en conjunto predomina el piroxeno. He podido observar en muchos puntos el contacto del piroxeno con la olivina y he notado que siempre el índice de refracción de la olivina es superior al del piroxeno.

En los condros del segundo tipo, que podríamos llamar porfíricos, hay individuos relativamente grandes (de hasta cuatro décimos de milímetro de largo) de olivina incluídos dentro de una masa microcristalina formada por cristales aciculares de piroxeno rómbico que sólo por su largo menor y su disposición menos regular difieren de aquellas que constituyen los condros fibrosos. He notado que aun en los condros porfíricos el índice de refracción de la olivina es constantemente superior al del piroxeno, cualquiera que sea la orientación de los cristales que están en contacto.

Para que el índice de refracción mínimo de una olivina sea (como ocurre en nuestro caso) mayor que el índice de refracción máximo de un piroxeno rómbico, aquélla debe ser más rica en hierro que éste. Basándome en datos consignados en la conocida obra de Winchell sobre mineralogía óptica, he calculado los porcentajes moleculares y ponderales que satisfacen a esta condición, llegando a los resultados siguientes:

Si el piroxeno fuera una enstatita pura, o sea, únicamente metasilicato de magnesio, la olivina contendría por lo menos el 15,5 por ciento, en peso, de ortosilicato de hierro, siendo 13 el porcentaje molecular correspondiente; no sería, pues, forsterita sino una variedad de crisolito pobre en hierro [1].

Si el piroxeno fuera una broncita típica con el 13 por ciento, en peso, de metasilicato de hierro (siendo 10 el porcentaje molecular correspondiente), la olivina contendría aproximadamente el 25 por ciento, en peso, de ortosilicato de hierro (siendo 22 el

[1] Siguiendo Winchell (1927, págs. 165 y 168; 1942, pág. 332, fig. 398), atribuyo al término «olivina» el sentido más amplio, aplicándolo a todos los miembros de la serie isomorfa cuyos miembros extremos son la forsterita pura y la fayalita pura; y empleo el término «crisolito» para designar los miembros de la serie en los cuales el porcentaje de ortosilicato de hierro está comprendido entre 10 y 30.

porcentaje molecular correspondiente); sería también crisolito, pero de un tipo medianamente rico en hierro.

Estos resultados presentan, a mi modo de ver, cierto interés por cuanto las clasificaciones de los meteoritos pétreos propuestas por Farrington y por Prior se fundan en la suposición de que la relación entre óxido ferroso y óxido de magnesio es la misma tanto en la olivina como en el piroxeno rómbico, cuando estos minerales se hallan en una misma piedra meteórica; pero mis observaciones acerca de los índices de refracción indican que esto no ocurre en la condrita de El Perdido. Debo agregar que no veo la necesidad de que en los meteoritos ocurra siempre lo que suponen Farrington y Prior, pues las rocas terrestres que más se asemejan, por su composición mineralógica, a los condros porfíricos del meteorito de El Perdido son ciertas harzburgitas de Noruega en las cuales la olivina (que ha sido la primera en cristalizar) es crisolito y el piroxeno es enstatita.

La deformación cataclástica sufrida por los cristales de mayor tamaño no me ha permitido obtener buenas figuras de interferencia. Lo único que he podido comprobar es que en la olivina el ángulo de los ejes ópticos es próximo a 90°. Una olivina dotada de esta propiedad puede ser forsterita o bien un crisolito relativamente pobre en hierro; pero hemos visto que el índice de refracción es superior al de la forsterita y, por consiguiente, debemos aceptar la segunda alternativa. Sabemos que, si el crisolito es pobre en hierro, el piroxeno que en cualquier posición tiene índice de refracción más bajo es necesariamente enstatita y no broncita. Así queda resuelto, mediante un procedimiento indirecto, el problema de la determinación de los dos silicatos que constituyen los condros.

La observación directa, por otra parte, ya podía hacer sospechar la presencia de enstatita y de crisolito. En los cortes delgados del meteorito de El Perdido los dos componentes cristalinos transparentes aparecen igualmente incoloros, pero no es difícil distinguirlos aun sin analizador, por cuanto la aparente aspereza de las superficies de las secciones de olivina siempre es bien visible, cualquiera que sea la orientación óptica del cristal, mientras que en general las secciones del piroxeno no presentan igual aspecto

de aspereza. Además, los colores de interferencia del piroxeno son muy bajos, llegando excepcionalmente al amarillo claro en una región donde el espesor del corte llega a casi 35 micrones; esto indica que la diferencia entre el índice de refracción máximo y el mínimo es muy próxima a 0,008, como en el metasilicato de magnesio puro.

La asociación de olivina y enstatita en una piedra meteórica no es contemplada en la clasificación de Prior (1923, págs. vi-viii; 1929, pág. 342), pero ha sido observada por Pastore (1925, pág. 302) en la condrita de La Colina (provincia de Buenos Aires) y por Olsacher (1931, págs. 439 y 440) en las de Malotas o Salavina (provincia de Santiago del Estero). Ambos autores han comprobado que en estos casos la olivina es forsterita, siendo una de las pruebas aducidas la escasa diferencia entre los índices de refracción de este mineral y de la enstatita. Sabiéndose que la forsterita suele hallarse en rocas metamórficas, especialmente de contacto, y no en las rocas magmáticas terrestres, las observaciones de Pastore y de Olsacher proporcionan un nuevo argumento para combatir la opinión, aun demasiado difundida, de que hay muy estrechas analogías, en lo que a composición mineralógica se refiere, entre las condritas y algunas rocas magmáticas terrestres pobres en sílice.

VIII. INCLUSIONES EN LA OLIVINA Y EN EL PIROXENO

En los cristales de olivina he notado inclusiones de tres tipos diferentes: opacas, transparentes cristalinas y transparentes vítreas.

Algunas de las inclusiones opacas están constituídas por partículas de troilita, otras por pequeñas masas, de forma irregular, de hematita (variedad negra, opaca) y otras aun por cristales menudísimos que a menudo presentan secciones cuadrangulares y que, por su aspecto, podrían decirse de magnetita o de cromita. La presencia de cromita, sin embargo, es improbable, por cuanto sabemos que el análisis del meteorito de El Perdido, efectuado por un químico de indiscutible habilidad, no reveló ni vestigios de cromo. Algunas de las inclusiones opacas están formadas por

dos minerales ; hay un núcleo de troilita rodeado por una envoltura de hematita negra.

Las inclusiones transparentes cristalinas son rarísimas y muy pequeñas ; las más visibles aparecen en sección como rectángulos cuyos lados mayores llegan, a lo sumo, a 2 centésimos de milímetro. Son incoloras, birrefringentes y con índice de refracción muy elevado. Las he observado sólo en pocos cristales de olivina.

En cambio, las inclusiones vítreas son sumamente numerosas y se hallan en la mayoría de los cristales de olivina. Varían muchísimo en forma y tamaño. Las más pequeñas, visibles sólo con fuertes aumentos, suelen ser globulares o aproximadamente cilíndricas ; las de mayor magnitud presentan a menudo prominencias angulosas y a veces hasta ramificaciones. La tendencia a disponerse en series lineales parece más acentuada en las inclusiones más pequeñas. El color del vidrio que forma estas inclusiones varía, naturalmente, con el espesor ; en las inclusiones pequeñas es pardo rosado claro o pardo grisáceo y en las mayores llega a un pardo anaranjado y a un pardo rojizo igual al de ciertos velos y vetas de óxidos de hierro secundarios.

En los cristales de piroxeno, las inclusiones opacas, iguales a las de olivina, son relativamente abundantes, mientras las de vidrio son menos frecuentes. El color del vidrio es también pardo anaranjado o pardo rojizo en las inclusiones de los cristales de mayor tamaño, pero puede presentarse con un color pardo grisáceo claro, a veces con un tinte verdoso, en las inclusiones alargadas de los condros fibrosos. Las inclusiones transparentes cristalinas son raras ; son granos de olivina de algunos centésimos de milímetro de diámetro, que se hallan diseminados en el interior de algunos pocos cristales de enstatita. Su presencia es significativa, por cuanto indican que la cristalización de la olivina ha sido anterior a la del piroxeno, confirmando así la conclusión que puede sacarse de las relaciones entre los dos minerales observados en los condros polisomáticos porfíricos.

IX. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LAS VETAS

La piedra meteórica de El Perdido está cruzada por numerosísimas vetas sinuosas que se ramifican, rodean condros y a veces terminan con confundirse con algunas de las innumerables superficies de fractura que atraviesan los cristales de piroxeno y olivina.

La substancia de las vetas, vista al microscopio, no aparece homogénea. A menudo se observa una parte central, relativamente transparente, de color rojo-pardo o rojo sangre en luz transmitida, de alto índice de refracción, birrefringente y con polarización de agregado ; hacia los bordes, el color se hace más obscuro, y la substancia que forma la veta se vuelve opaca, mostrándose negra y con reflejos metálicos grises en luz reflejada. Al parecer, estas vetas están constituídas por dos variedades de hematita ; la roja en la parte central, la negra en las partes laterales.

Otras veces la parte central es parda y ópticamente isótropa en luz transmitida, de color pardo amarillento en luz reflejada, mientras que las zonas laterales siempre presentan el mismo aspecto : opacas y, en luz reflejada, negras con reflejos metálicos grises. Parece, pues, que en ciertas partes de nuestro meteorito las vetas están constituídas totalmente por hematita y otras partes por hematita y por limonita. El elevadísimo índice de refracción de las substancias transparentes que forman la parte central de las vetas corrobora la suposición de que se trata de óxidos de hierro, anhidros o hidratados.

En el interior de los cristales de olivina, y aun del piroxeno, hay inclusiones de vidrio que a veces, cuando son suficientemente grandes, presentan los mismos colores, pardos o rojos, que se observan en las zonas centrales de muchas vetas. El índice de refracción de este vidrio, aunque relativamente alto, siempre es inferior al del piroxeno ; el índice de refracción de cualquier óxido de hierro, hidratado o no, siempre es superior al de la olivina. Por consiguiente, no puede haber duda acerca de la naturaleza de las susbtancias transparentes pardas o rojas que se hallan en con-

tacto con cristales de piroxeno o de olivina. Desgraciadamente, en los cortes delgados de la condrita de El Perdido he visto muchas manchas pardas o rojizas más o menos transparentes y ópticamente isótropas, que están rodeadas completamente por minerales opacos. En estos casos, dada la imposibilidad de estimar el índice de refracción por comparación, no hay manera directa de distinguir si la substancia transparente isótropa, de color pardo o rojo, es un óxido de hierro o un vidrio. También podría sospecharse que hubiera vidrio en las partes opacas de las vetas, cada vez que no se observa brillo metálico en luz reflejada, pues la existencia de vidrio perfectamente opaco ha sido señalada más de una vez en los meteoritos.

Examinando en luz reflejada las secciones de las pequeñas masas de troilita, he visto que muchas de ellas están rodeadas por un borde negro, con reflejos metálicos, que muy a menudo se continúa en una o más vetitas de la misma substancia negra opaca. Ocurre lo mismo alrededor de las secciones de hierro-níquel. En estos casos no es verosímil que la substancia opaca negra sea vidrio, dado que no sabríamos explicar su tendencia a rodear partículas de metal y de un sulfuro. En cambio, es lógico suponer que se trate de un mineral de hierro secundario.

Ya he dado las razones que inducen a suponer que en el meteorito de El Perdido hubiera, originariamente, no poca lawrencita, que luego habría sido descompuesta por la acción de la humedad y del oxígeno atmosférico, con formación de óxidos e hidróxidos de hierro. Ahora conviene recordar que esta descomposición es acompañada, necesariamente, por la producción de ácido clorhídrico. Es claro que si este ácido clorhídrico ha podido llegar hasta el hierro-níquel o hasta la troilita, debe haber determinado la formación de nuevo cloruro de hierro, que luego a su vez, con el pasar del tiempo, se ha transformado en uno u otro de los óxidos de hierro; pero en esta nueva transformación, causada también por acciones atmosféricas, se ha producido más ácido clorhídrico, así que, teóricamente, debería llegarse hasta la desaparición total del hierro-níquel y de la troilita. Si esto no ha ocurrido, se lo debe a la acción protectiva de una envoltura de hematita, que entre

los óxidos de hierro es el que mejor resiste el ataque mediante ácido clorhídrico.

Así, a mi modo de ver, se explica la presencia del borde negro opaco que he notado alrededor de muchas secciones de troilita y de hierro-níquel visibles en los cortes delgados que he examinado.

He dicho que las vetas llegan, con sus ramificaciones menores, a confundirse con los velos pardos o rojizos que han rellenado las grietas de los cristales de piroxeno y de olivina. Estos velos presentan un índice de refracción muy superior al de la olivina y del piroxeno, así que no pueden estar constituídos por vidrio. En ciertos cristales de olivina atravesados por velos pardos o rojizos he visto también inclusiones de vidrio y he notado una diferencia de color bastante marcada, aunque no me resultaría fácil expresarla con palabras.

Todo parece indicar, pues, que en el meteorito de El Perdido la proporción de vidrio es modesta y que, en cambio, hay una gran abundancia de óxidos de hierro (especialmente hematita) de origen secundario. Y así se explica el porcentaje excepcionalmente alto de óxido férrico revelado por el análisis de Herrero Ducloux.

X. CONCLUSIONES

Mis observaciones me inducen a creer que actualmente los componentes principales de la condrita del El Perdido son : crisólito, enstatita, óxidos de hierro, troilita, hierro-níquel y vidrio. Seguramente el crisólito es el más abundante y el vidrio parece ser escaso. Es posible que la proporción de óxidos de hierro iguale o supere ligeramente la de la enstatita ; con esta salvedad, creo poder afirmar que el orden que he seguido corresponde al de abundancia relativa, que he estimado a ojo en los cortes delgados. He tratado de determinar porcentajes mediante medidas con ocular micrométrico, obteniendo valores muy diferentes en distintos cortes delgados, y aun en distintas partes del mismo corte. Comprobada así la considerable heterogeneidad de esta condrita, se ha

hecho evidente la futilidad de toda tentativa de determinar la composición mineralógica cuantitativa media.

Originariamente (quiero decir, antes de sufrir los efectos de la acción prolongada de la humedad y del oxígeno atmosférico) nuestra condrita debía tener una composición diferente. La lawrencita era, probablemente, uno de los minerales abundantes y la proporción de troilita y de hierro-níquel era seguramente más elevada; en cambio podía faltar completamente, o ser muy escasa, la hematita.

En la condrita de El Perdido no he logrado hallar feldespatos, cuya presencia me parecía sumamente probable, en atención a los porcentajes de alúmina (5,31), cal (2,22) y soda (1,20) determinados por Herrero Ducloux. Ahora me inclino a suponer que el piroxeno, aunque rómbico, puede contener cantidades no despreciables de los tres óxidos, como se comprobó en el célebre siderófiro de Steinbach (o Rittersgrün); además la proporción relativamente elevada de óxido de calcio se explica con la existencia de la oldhamita entre los minerales originarios.

Al agrietamiento de los condros y la fracturación de los minerales relativamente frágiles (como el piroxeno y, aún más, la olivina) es imputable la avanzada, y a veces completa, alteración de los minerales originarios, pues las grietas han permitido que la humedad y el oxígeno atmosférico penetraran profundamente en el interior del meteorito.

A mi modo de ver, el agrietamiento y la fracturación no representan necesariamente el resultado del metamorfismo dinámico que se habría producido en el seno de un cuerpo celeste que ya no existe; quizá sea el efecto de la enorme aceleración negativa a que fué sometido el meteorito al entrar en la atmósfera terrestre. Es difícil imaginar los efectos mecánicos de una frenada que en pocos segundos reduce la velocidad de un meteorito desde algunas decenas de kilómetros a unas pocas centenas de metros por segundo. Pero es posible, mediante un cálculo aproximado, llegar a formarse una idea de la magnitud de esta aceleración y de sus probables efectos; y me propongo demostrarlo próximamente, en otra nota.

La Plata, 30 de noviembre de 1946.

LISTA DE TRABAJOS MENCIONADOS EN EL TEXTO

Berwerth, F., *Fortschritte in der Meteoritenkunde seit 1900* (segunda parte), en *Fortschritte der Mineralogie*, etc., II, 227-258, Jena, 1912.

Farrington, O. C., *Analyses of Stone Meteorites*, en *Field Museum of Natural History Publication 151* (Geological Series, III, nº 9, 195-214, Chicago, 1911).

Herrero Ducloux, E., *Nota sobre el meteorito de El Perdido*, en *Revista del Museo de La Plata*, XVIII, 29-33, Buenos Aires, 1911.

— *Datos químicos sobre la piedra meteórica de Hinojo (Prov de Buenos Aires)*, en *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de La Plata*, V, 2ª parte, 1-12, Buenos Aires, 1929.

Kantor, M., *Guía y catálogo de la colección de los meteoritos existentes en el Museo de La Plata, etc.*, en *Revista del Museo de La Plata*, XXV, 97-125, Buenos Aires, 1920.

Kyle, J. J. J., *Análisis de una piedra meteórica*, en *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, XXIV, 128-132, Buenos Aires, 1887.

Lacroix, A., *L'eucrite de Béréba et les météorites feldespathiques en général*, en *Archives du Muséum d'Histoire Naturelle*, (6), I, 15-58, París, 1926.

Merrill, G. P., *Composition and structure of meteorites*, en *United States National Museum Bulletin 149*, Washington, 1930.

Olsacher, J., *El meteorito de Salavina (Prov. de Santiago del Estero)*, en *Revista de la Universidad Nacional de Córdoba*, XVIII, nº 9-10, 430-446, Córdoba, 1931.

Pastore, F., *Descripción petrográfica de los aerolitos de La Colina y de Santa Isabel*, en *Anales del Museo Nacional de Historia Natural « Bernardino Rivadavia »*, XXXIII, 297-309, Buenos Aires, 1925.

Prior, G. T., *Catalogue of meteorites with special reference to those represented in the collection of the British Museum (Natural History)*, London, 1923.

— *A guide to the collection of meteorites*, British Museum (Natural History), Mineral Department, London, 1926.

— *Meteorite*, en *Encyclopaedia Britannica*, 14th Edition, XV, 339-343, London, 1929.

Schiller, W., *Meteoritenfund in der argentinischen Provinz Buenos Aires*, en *Centralblatt für Mineralogie, etc.*, 1926, nº 22, 716, Stuttgart, 1906 (no figura el nombre del autor).

Winchell, A. N., *Elements of optical mineralogy*, Second edition, Part II, New York, 1927.